

環境科学研究科ニュースレター No.18

著者	東北大学大学院環境科学研究科
雑誌名	環境科学研究科ニュースレター
号	18
発行年	2017-03
URL	http://hdl.handle.net/10097/00123167

[環境科学研究科ニュースレター]

News Letter

18
NO.
2017.03

東北大学大学院環境科学研究科

Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University



特集

リサイクル－気づきから取り組みへ－

- ① コツコツ蒔くエコのタネ－せんだい環境学習館「たまきさんサロン」－

仙台市環境局 廃棄物事業部 ごみ減量推進課 主任 佐藤陽子

- ② リサイクルってなんで大事？

先進社会環境学専攻 環境政策学講座

環境・エネルギー経済学分野 教授 松八重一代



リサーチ・レポート

Research Report

- ① 岩石が膨らむ－「反応誘起応力・歪み」の理解と制御－

先進社会環境学専攻 資源戦略学講座 地球物質・エネルギー学分野 助教 宇野正起

- ② 高分子の熱分解研究の最前線を目指して

先端環境創成学専攻 自然共生システム学講座 資源再生プロセス学分野 助教 熊谷将吾

連載 第16回

龍は雲に登り
神は崑崙に棲む

－黄河文明の翳－

東北大学 名誉教授 浅野 裕一

コツコツ蒔くエコのタネ ―せんだい環境学習館「たまきさんサロン」―

仙台市環境局 廃棄物事業部 ごみ減量推進課 主任 佐藤陽子



サロン座談会「ふるさとの声を聴く―過去から未来につなげる手法」
講師 東北大学名誉教授 石田秀輝氏 / ゲスト 映画監督 中村義洋氏

「たまきさん」って、誰？

環境という単語をひっくり返すと一境環。訓読みして「さかいたまき」。こんな遊びから生まれた謎のキャラ「たまきさん」がブログを書くサイトが仙台市環境 Webサイトたまきさんです。サイトの閲覧を通して環境への興味を呼び覚まし、無理なく環境配慮行動に導くという試み。① 環境には境(さかい)がなく(市だ、国だ、民間だの区別なし。扱うネタはどこまでも広く。)、② 生活者目線の体験情報、③ 人の顔が見え温度を感じる発信内容という行政らしからぬサイトです(もう一つ大事なこと「楽しさを大切に!」)。

平成24年度には環境 goo大賞の地球温暖化対策奨励賞を受賞。ファンを年々増やしつつ現在に至っています。

「たまきさん」を現実の舞台に

美しい環境を未来にという気持ち、資源は有限であり地球は一つという考えを多くの人が持っているはず。環境教育が行われ、環境配慮型製品や技術・スタイルは次々と誕生します。それに関わらず、世の中は物とごみに溢れ、地球温暖化を初めとする人間活動の肥大化に伴う環境への負荷は増す一方です。

この矛盾に気づくこと―ベースとしての環境の大切さに気づき、その環境に人間が与える負荷に気づき、行動を起こすこと。そのために生まれた「たまきさん」ですが、仮想空間の活動には限界があります。

そこで、気づきや興味を持った人々が集い、学び、交流する場として平成28年4月東北大学大学院環境科学研究科内にオー

ブンしたのが、せんだい環境学習館「たまきさんサロン」です。宮城県産材を活かした心地よい空間。つい手に取りたくなる魅力的な蔵書。そして、あらゆる分野が環境に関わっていることを気付かせる多種多様な講座は、環境に対する主体の意識を「他人事から自分事」へ変えていく重要な仕掛けとなっています。

未来に向けて -市と大学の協働力を発現する場に-

この先の世代に豊かな環境を引き継いでいくために、仙台市は資源循環都市・低炭素都市づくりを目指しています。人々の生活を守る計画や制度を設計することは行政が行うべきことですが、目的の完遂には、主体である市民のアクションが欠かせません。温暖化を防止するため焼却ごみの量を減らしましょう、資源物のリサイクル率を上げるためごみの分別を徹底しましょうと行政が訴えても、一人ひとりが環境問題を「自分事」として捉えない限り、新たな枷となってしまいます。どんな方法を以てしても、市民(もちろん、市民に限らず)全ての意識をすぐに変えることは出来ません。行政が人々の暮らしを守る施策を実施すること、大学が知的資源を広く社会に還元することはそれぞれ不可欠な役割ですし、その理念に基づく企画を実行し続ける「たまきさんサロン」が担う役割は大きいはず。一過性ではない環境意識の醸成と定着を目指し「たまきさんサロン」をシンボルに市と大学が力を合わせることで、サロンがさらに成長し多くの人に愛されることを祈っています。



仙台市環境局 廃棄物事業部 ごみ減量推進課 主任
佐藤 陽子 (さとう・ようこ)

2011年度より環境共生課にて「たまきさん」企画運営、企業・NPO・学生等による「せんだいE-Action実行委員会」設立、「伊達な節電所キャンペーン」構築等を担当。2016年度より現職(ごみ減量企画啓発担当)。

住所：仙台市青葉区二日町 6-12MS ビル二日町 3F

電話：022-214-8230 E-mail：youko_satou_3@city.sendai.jp



1. 杜の都の凸凹さんぽ～歩いて知ろう、青葉山～
講師 東京スリパチ学会 会長 皆川典久氏
2. 浄水場の廃泥土をリサイクル～土を作り植物を育ててみよう～
講師 東北大学大学院環境科学研究科 教授 高橋弘氏
3. 人の一生と和菓子～菓子づくり体験を交えて～
講師 杜の菓匠 玉澤総本店 梅津博明氏
4. 動く植物にさわってみよう「ねむる」植物とハエトリソウの「記憶」
講師 東北大学大学院理学研究科 教授 上田実氏



左から山口さん、菅原さん、岩佐さん

スタッフよりメッセージ

たまきさんサロンは仙台市が運営している市民向けの環境学習施設で 3人の職員が勤務しています。世代も経歴も異なる我々スタッフの特徴を活かしながら、今後も更に居心地の良い空間を造り、もっと面白い環境図書を揃え、多くの市民に楽しみながら環境を学んでいただけるような企画を実施していきたいと考えています。多くの方々のご来館をスタッフ一同お待ちしております。

たまきさんサロンでは、掃除や園芸さえ環境につながる仕事であると気づかされ、楽しみながら勤務している毎日です。(山口)

人と話すことが好き。好奇心いっぱい利用者「環境」と向き合うきっかけを作っている毎日です。(菅原)

まだ環境の知識が豊富ではないので、図書やサロン講座を通じて市民の皆様と一緒に環境について学んでいる毎日です。(岩佐)

せんだい環境学習館「たまきさんサロン」 ホームページ <http://www.tamaki3.jp>

住所：〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1

電話：022-214-1233 FAX：022-393-5038

開館時間：平日 10時～20時30分 / 土日祝 10時～17時

休館日：月曜(月曜が休日の場合は、その翌日)、祝日の翌日、年末年始

特集
2

リサイクルってなんで大事？

東北大学 大学院環境科学研究科 教授 松八重一代



世界一のリン採掘量を誇るモロッコのKhouribgaリン鉱山調査の様子

マテリアルフローの視点から
社会の重さを知る

消費活動・生産活動はすべからく多かれ少なかれエネルギー・資源の消費を必要とし、その結果、廃棄物・環境負荷物質の排出が起こります。我々は一年間に一体どれほどの「モノの流れ」に支えられているのでしょうか。

図1は2010年の日本の物質フローを表したものです。日本の経済活動を支える資源、製品といった物質の投入が左側から行われ、右側に産出、排出される物質量が記述されています。排出された廃棄物のうち循環利用される物質は下のループで記述され、生産プロセスに再投入されます。このようなフロー図を作成することで、日本の物質代謝を明らかにし、エネルギー消費、廃棄物発生、リサイクルといった物質の流れを容易に理

解することができるようになります。このように、物質の流れ（マテリアルフロー）に着目し、勘定体系としてのマテリアルフロー勘定 (Material Flow Accounting) をベースとして、様々な資源・環境問題に取り組む手法をマテリアルフロー分析 (Material Flow Analysis: MFA) といいます。

多くのエネルギー資源、食糧資源を海外に依存している日本では2010年に7億2700万トンの資源を海外から輸入しています。国内で採取される木材や採石等の資源とあわせて、13億6500万トンの一次資源投入が行われました。建設インフラや自動車等の耐久財として5億4300万トンのモノが追加的にストックされ、4億8000万トンのエネルギー資源が消費され、電気やガスなどの供給のために使われました。廃棄物の排出は5億6700万トンで、そのうち4割がリサイクルされています。

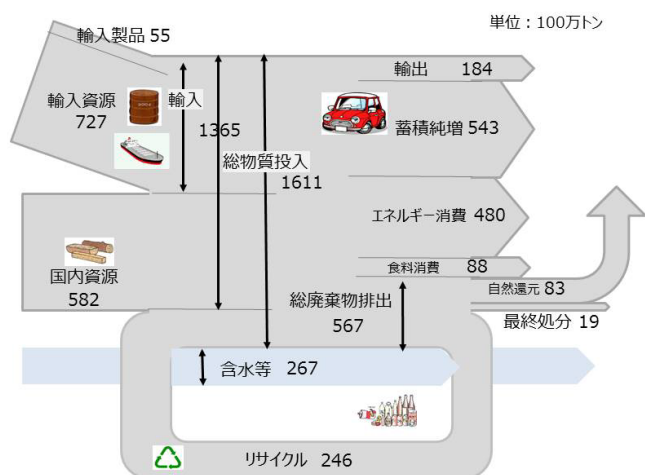
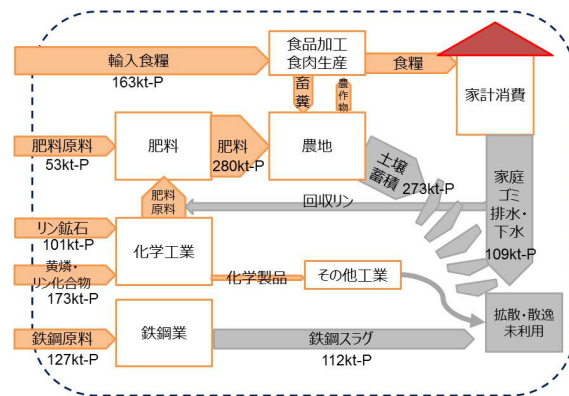


図1 2010年の日本の物質フロー

食糧消費にも鉱物資源は必要

近年、新興国の人口増大ならびに経済成長に伴い、鉱物資源需要のさらなる拡大が予想されています。さらに先進国においても ICT (Information and Communication Technology) の普及、グリーンエコノミーを実現するための革新技術を支える希少資源の需要は今後ますます増大傾向にあります。鉱物資源の需要はこのような工業製品の需要だけが引き起こすわけではありません。たとえば食糧生産にもトラクターや耕耘機を動かすためのエネルギー資源は必要ですし、肥料に含まれるリンやカリウムなどの栄養塩はリン鉱石やカリウム鉱石といった鉱物資源から供給されています。

図2は 2005年を対象とした日本のリンのマテリアルフローです。他の多くの鉱物資源と同様、日本ではリン鉱石は100%海外からの輸入に頼っており、鉱石産出国等で生産されるリン肥料やその他のリンを含む化合物とあわせて、約32万トンのリン資源を輸入しています。これらのリンを含む資源・素材の背後には鉱石の採掘、肥料生産の際のエネルギー消費、環境負荷物質の排出があります。社会の中にある未利用リン資源は家計から排出される家庭ゴミや、排水・下水等に10万トン含まれており、その一部はリサイクルされていますが多くの拡散・散逸しています。我々が食べたり飲んだりしている食糧に石ころは入っていません。しかしながら、食糧生産の背後にはリン鉱石のような鉱物資源を必要とし、鉱物資源の採掘活動は鉄やアルミニウムといった社会インフラに用いられる金属資源と同じように



ライフサイクル視点から考える
資源利用と環境・社会的責任

リサイクルを適切に行う取り組みは、その先にある資源調達の上流側で起こっている環境・社会的な負の影響を減らすことにつながっていることを、少しでも頭の片隅でイメージして、日々の生活での分別活動やリサイクル活動に取り組んでみましょう。

世界的な資源需要の増大は一次資源供給国、精錬技術を有する国での採掘による土地改変、素材精錬に伴う環境負荷排出の増大を引き起こします。精錬技術が未熟な途上国では、環境負荷排出の制御が適切に行われず、そこで働く人々の健康に甚大な被害をもたらすこともあります。また違法な採掘、適正な管理が行われていない鉱山開発は文化財の損失や、希少生物の生息を脅かすこともしばしば起こります。鉱山開発、素材精錬の場で発生する環境・社会への負のインパクトは、最終製品を利用する消費者の視野の外にある機会が多く、目の前で行われるモノの消費が、資源の最上流でのどのような影響をもたらしながら手元にきたものか想像することは確かに難しいことです。

東北大学 大学院環境科学研究科 教授
松八重 一代 (まつばえ・かずよ)

住所：仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1
電話：022-752-2264
E-mail : kazuyo.matsubae.a2@tohoku.ac.jp





リサーチ・レポート

Research Report

岩石が膨らむ

「反応誘起応力・歪み」の理解と制御

東北大学 大学院 環境科学研究科 助教 宇野正起

宇野 正起 (うの・まさおき)

埼玉県出身。東京大学理学部地球惑星環境学科、同大学院地球惑星科学専攻修士課程を経て、東京工業大学大学院地球惑星科学専攻博士課程修了。博士(理学)。同専攻・本研究科の研究員を経て、現職に至る。専門は岩石学・地球化学。



研究の背景と経緯

地下数km～数十kmに存在する水の挙動は、地震や火山の発生など島弧に住む我々の生活に密接に関わっています。また、これらの水はエネルギーや物質を輸送するため、その制御は地熱発電の開発や、放射性廃棄物の地層処分など地下開発に非常に重要です。

水流体が岩石と反応すると、固相(岩石)が体積膨張し、応力や歪みを発生します。体積膨張は最大数十%にもなり、その応力はかんらん岩や粘土鉱物の場合、最大~1GPaものオーダーになることが熱力学的に予測されています。実際に地熱開発やトンネル掘削では、無水石膏や粘土鉱物の地層を掘り抜いたために、岩石-水反応が進行してしまい、地盤が上下方向に数m変動して市街地や

トンネル、高速鉄道などに大きな被害を与えています。一方、この応力をうまく利用して岩盤に亀裂を発生させることで、地熱資源や石油の効率的な採掘や二酸化炭素の地層貯留反応の加速が期待されています。このように、岩石-水反応により生じる応力・歪み、すなわち「反応誘起応力・歪み」を理解し制御することは、エネルギーや資源の開発に必要な地下掘削に欠かせません。

しかしながら、実際に発生する「反応誘起応力・歪み」を測定した例は殆どなく、その予測は困難なのが現状です。そこで本研究では、これらの物性の“その場”測定が可能な装置を独自に開発することで、反応誘起応力・歪みの系統的な測定を初めて行い、その支配要因を制約しました。

研究内容と進捗

岩石-水反応の例として半水石膏と水を反応させると、反応により固相の体積が約40%も増加します。空隙率が高々2-30%の岩石が、40%の体積膨張を引き起こすとき、その体積変化は如何にして解消されるでしょうか？

実際に反応を進行させて、応力や歪みを測定すると、図1のように、時間とともに応力や歪みが増加する様子がわかります。また、反応物をX線CTで観察すると、微小な亀裂が入っており、実際に岩石-水反応により岩石が破壊することがわかりました。応力や歪みの支配要因を知るために、封圧と反応速度を変化させてみます。すると、封圧が大きくなると岩石は一旦収縮してから膨張することがわかりました。すなわち、封圧が加わることにより溶解沈殿クリープが引き起こされ、岩石は一旦変形して収縮するものの、反応が進行すると膨張に転じるのです。また、出発物質の反応表面積を制御することで、反応速度を変化させると、反応速度の速いものほど、大きな応力を発生することがわかりました。

これらの結果から、私たちは次のようなモデルを提案しました(図2)。すなわち、岩石の変形速度が速く反応速度が遅い系では、変形と膨張により空隙が閉塞して流体の供給が止まるため、周囲へ応力や歪みを発生しません。一方、変形速度が遅く反応速度の速い系では、空隙は閉塞せず、周囲へ応力や歪みを発生させ、亀裂を生成

して流路をつくり、さらに周りへと反応を広げてゆきます。このように、反応速度と変形速度の競合が、「反応誘起応力・歪み」の主要な支配要因であることが推測されます。

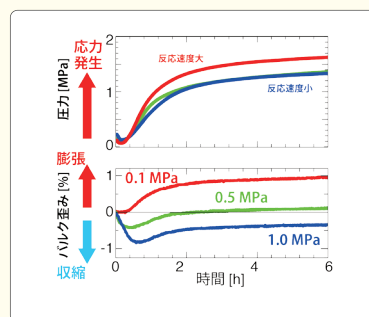


図1 岩石-水反応で生じる反応誘起応力(上段)・歪み(下段)の測定例

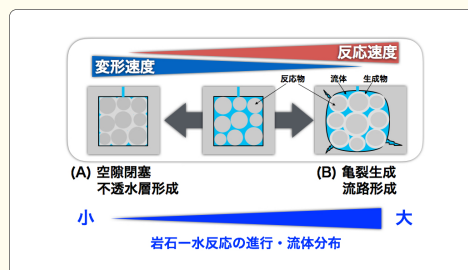


図2 「反応誘起応力・歪み」の支配要因のイメージ

今後の展開

上記の成果を国際学会で発表したところ、岩石学・鉱物学はもとより、地熱開発・放射性廃棄物の地層処分・シェールオイル・二酸化炭素の地層貯留・地震発生など、さまざまな分野の研究者から声をかけられ、「反応誘起応力・歪み」への関心の高さを実感

しました。今後、さらなるメカニズムの解明を進めることで、地下の亀裂や透水率の制御を実現して、これらの分野に貢献したいと考えています。



高分子の熱分解研究の最前線を目指して

東北大学 大学院 環境科学研究科 助教 熊谷将吾

熊谷 将吾 (くまがい・しょうご)

宮城県仙台市出身。国立宮城工業高等専門学校情報デザイン学科、東北大学工学部化学・バイオ工学科、東北大学大学院環境科学研究科、日本学術振興会特別研究員(DC1)を経て、2015年3月に博士(環境科学)を取得。同年より現職。研究活動と3児の子育てに日々奮闘中です。



研究の背景と経緯

熱分解法は、不活性ガス雰囲気下において「熱」の力をもとに化学結合を切断する手法です。熱源があれば、様々な化学結合を開裂できるため、人工ポリマーやバイオマス等の高分子を簡易に低分子化する手法として注目を集めています。例えば、廃プラスチックやバイオマスを熱分解し、熱分解生成物を更に触媒改質することで天然資源代替の化学原燃料に転換する研究が世界中で盛んに行

われています。しかし、本分野では、熱分解法が高分子を低分子化する「手段」としてblack box化している傾向があります。私は、熱分解反応そのものに化学者として向き合い、反応機構説明・反応制御・生成挙動の予測を目指して研究をしています。熱分解研究の発展は、化学原燃料の品質向上や触媒への負担軽減等、多くのメリットをもたらすことが期待されます。

研究内容と進捗

本稿では一例として、プラスチックと木質バイオマスの共熱分解に関する研究成果を紹介します。建築材料(床材、デッキ材等)、解体廃棄物(木材とプラの混合屑)、セルロースナノファイバー強化樹脂、レジ袋(ポリエチレン(PE))と紙(セルロース)の混合ゴミなど、プラスチックと木質バイオマスの混合・複合物は数多くあります。これらを想定した化学原燃料化の研究は数多く、著者も、Prof. Williams (University of Leeds, UK)およびProf. Olazar (UPV/EHU, Spain)の研究グループと合成ガス化に関する共同研究成果を報告しています(Kumagai *et al.*, *J. Anal. Appl. Pyrol.* 113, 15 (2015)等)。

一方、プラスチックと木質バイオマスの共熱分解において、各々が独立して熱分解するのか相互に影響を及ぼし合いながら熱分解するのか、未だに議論が続いています。最近、著者らは、セルロースやリグニンの熱分解で生成するラジカル種が、水素リッチなPEから水素を引抜き、安定化する相互作用を提唱しました(図1)(Kumagai *et al.*, *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 122, 531 (2016))。本相互作用が働くことにより、反応性の高い(≈分解しやすい)レボグルコサンや側鎖に二重結合を持つメトキシフェノール類の収率が増加し、これら熱分解生成物の収率は逆に減少しました。

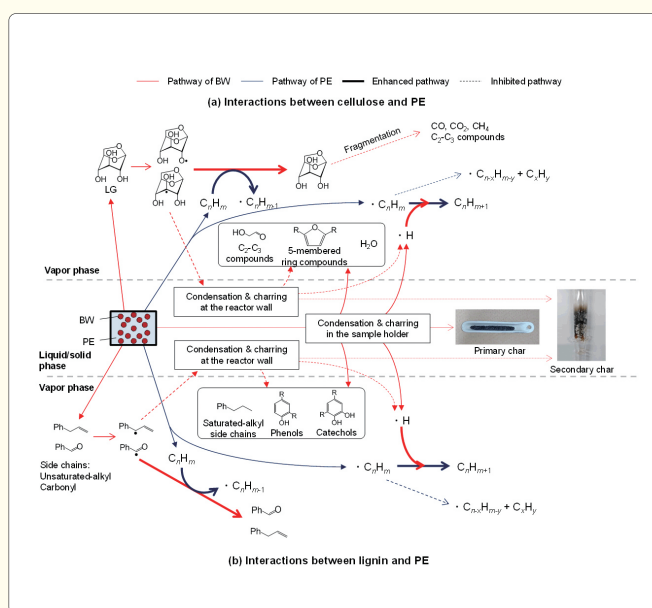


図1 提唱した相互作用
a) PE-cellulose および b) PE-lignin

今後の展開

熱分解反応そのものの理解が、試料調製、熱分解条件、触媒設計等にヒントを与え、将来的な未利用高分子の資源化や熱分解プロセス全体の高効率化に直接貢献すると期待しています。一方、本研究が、高分子材料の熱劣化評価技術や、食品科学・考

古学・法科学等における未知試料の熱分解による定性技術の発展にも、重要な役割を持つ可能性が示唆されています。これらの研究開発を通じて、関連する学問および技術の発展に貢献していきたいと思っています。

連載

龍は雲に登り 神は崑崙に棲む

—黄河文明の翳—

第
16
回

東北大学 名誉教授 浅野 裕一

後世の人々に奢侈・贅沢をさせず、万物を飾り立てさせず、等級の格差を定めた制度をきらびやかにさせず、厳格な基準を立てて自らを律し、それによって世界の危機に備える。古代の道術の中には、こうした方針のものがあつた。墨子と弟子の禽滑釐は、その遺風を伝え聞いて大いに共感し、それを過激に実践し、世間の常識に背いてまで採用しようとした。音楽を非難する論調を掲げて、それを物資の節約だと称した。そのため生きている間は歌わず、死んだ後もまともな死に装束さえない有様だつた。

墨子は人々にあまねく愛し合い、利益を与え合うように勧め、戦争に反対した。そのやり方は、他人に怒りの感情を持たないというものであつた。また後天的学習を尊んで、人間に(生まれながらの身分による)違いはないとする考えを広め、先王のやり方に同調せず、古代先王が作った礼楽を非難した。黄帝には咸池の楽があり、堯には大章の楽があり、舜には大韶の楽があり、禹には大夏の楽があり、湯には大濩の楽があり、文王には辟雍の楽があり、武王と周公は武という楽を作つた。また古代先王が定めた喪礼では、身分の貴賤に応じた型式があり、身分の上下に応じた等級の差があつた。天子の柩は内棺・外槨合わせて七重、諸侯は五重、大夫は三重、士は二重となつてゐた。

なのに墨子だけは、生きている間は歌わず、死んでからも死に装束すらなく、桐の柩はわずかに三寸足らずの厚さで外槨はないというのを、守るべき基準としている。こんな規範を掲げて人々を教え導こうとすれば、恐らく人を愛することにはならないだろう。この規範を自ら実践すれば、もとより自分を愛することにもならない。まだ墨子の教えが(人々に嫌がられて)破れ去つたわけではないが、そうは言つても、歌うべき時に歌うなといい、泣くべき時に泣くなといい、楽しむべき時に楽しむなという。これで果たして人間の在りように適っているであろうか。生きている間は働き詰めで、死ねば粗末に葬られる始末で、その教えは儉約一筋である。人々を嘆かせ悲しませるもので、その極端な行為は実行するのが難しい。恐らく聖人の道だとは言えないだろう。世界中の人々の心とかけ離れており、すべての人々にとって耐えられないものである。墨子一人が実行できたとしても、世界全体を変えることはできない。世界の実態からかけ離れている以上、(天下を太平に統治する)王者の道からも遠ざかっているとしなければならぬ。

墨子は墨者が歩むべき道を次のように唱えている。昔、禹が洪

水を防ぎ止め、長江や黄河の川筋を改修して、四方の夷狄が住む辺境や、中国内の九州を通行可能にしたときには、(改修を加えた)大きな河川は三百、支流は三千、小さな河川は数えきれぬほどであつた。禹は自らもつこや鋤を手に、世界中の河川を糾合し、ふくらはぎの肉はそげ落ち、脛の毛は擦り切れ、豪雨に沐浴し、強風に向かつて髪をすく有様で、多くの都城を設置したのである。禹は偉大な聖人だつたにもかかわらず、世界のためにここまで身体を酷使したのであると。(墨子はこのように禹を絶賛するやり方で)後世の墨者が粗末な衣服を身にまとい、木靴や藁靴を履き、昼も夜も休まず、自ら苦行するのが最高だと信ずるよう煽つたのである。そして墨子は、ここまでできなければ、禹の生き方を見習つているとは言えず、とても墨者とは名乗れないのだと励ましている。

(中略)墨子と禽滑釐の意図は正しいが、その行動は間違つてゐる。後世の墨者に必ず自ら苦行して、ふくらはぎの肉はそげ落ち、脛の毛は擦り切れるに至るのを目標に、ともに競い進ませているだけである。乱世にあつては上策だが、治まつた世では下策である。だがそうは言つても、墨子こそは真に世界を愛する者である。世界を不幸から救おうとして果たせなければ、たとえ我が身が枯れはてようと止めようとはしない。なんと才能に優れた士であることよ。

天下篇の作者は、「生きて歌わず、死して服无き」墨者の苦行を、人の実情に背く生き方だと批判する。だがその一方で、「墨子は真に天下を之れ好む者なり」と、墨者の超俗的活動が救世の精神にあることを認め、一定の評価を与えてもいる。こうした生き方を実践していた墨者にとって、個人の立身出世などはそもそも追求すべき目標ではないから、出世できなかった原因を宿命に転嫁して、自己弁護を図る必要は存在しないのである。墨者は人類が自然界から取り出せる富の総量は、人類の生存を保障するには不足していると考えた。そこで墨家は、勤勉な労働によって富を増産するとともに、徹底した節約によって富の浪費を抑えるべきだと訴えた。儒家の荀子は、「墨子の節用は、則ち天下をして貧ならしむ」(『荀子』富国篇)と批判したが、墨家に言わせれば、富の絶対量が不足している以上、人類には富を無用の装飾につぎ込む余裕はないということになる。

News Letter

環境科学研究科ニュースレター NO.18 / 2017年3月発行
表紙:たまきさんサロン講座風景(2016年12月撮影)
「トナカイ遊牧民への旅、毛皮民具のてざわりとともに」

東北大学大学院環境科学研究科
Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

[環境科学研究科本館] 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1
TEL 022-752-2233(総務係) FAX 022-752-2236
<http://www.kankyo.tohoku.ac.jp/>

